

PENGARUH KOMPOSISI BAHAN BAKU SECARA STOIKIOMETRI DAN NON STOIKIOMETRI TERHADAP SIFAT FISIS DAN MAGNET PADA PEMBUATAN MAGNET PERMANEN BaO.6Fe₂O₃

Kharismayanti¹, Syahrul Humaidi¹, Prijo Sardjono²

kharisma.binti.a.ritonga@gmail.com

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara
Jalan Bioteknologi No.1 Kampus USU, Medan 20155, Indonesia

²Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Kompleks Puspiptek Serpong,
Tangerang Selatan 15314, Indonesia

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan magnet permanen Barium Heksaferit dari bahan baku BaCO₃ dan Fe₂O₃ teknis dengan memvariasikan komposisi bahan baku BaCO₃ dan Fe₂O₃ secara Stoikiometri (1:6) dan Non-Stoikiometri (1:6,5). Proses preparasi dilakukan dengan mencampur dan menggiling secara basah bahan baku menggunakan *Plenary Ball Milling* (PBM) dan dikeringkan, lalu dilakukan pengujian *Differential Temperature Analyze* (DTA) untuk mengetahui temperatur kalsinasinya. Kemudian serbuk tersebut dikalsinasi pada suhu 1000⁰C dan ditahan selama 2 jam. Selanjutnya dianalisa dengan menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) dan hasilnya menunjukkan telah terbentuk struktur BaO.6Fe₂O₃. Lalu dilakukan penggilingan serbuk BaO.6Fe₂O₃ menggunakan mortar lalu diayak hingga lolos 400 mesh (38µm). Pada pencetakan ditambahkan seluna sebanyak 3% (%wt) sebagai perekat. Pencetakan dilakukan secara anisotropi dengan menggunakan *magnetic field press* dan diberi tekanan sebesar 5 ton. Kemudian disintering pada temperatur 1150⁰C ditahan selama 2 jam. Karakterisasi meliputi : analisa XRD, pengukuran *fluks density* dengan gaussmeter, pengukuran densitas, porositas, morfologi BaO.6Fe₂O₃ dengan SEM-EDX dan pengukuran BH *curve* dengan permagraf. Dari hasil penelitian bahwa magnet Barium Heksaferit yang memiliki kuat medan magnet tertinggi adalah magnet yang dibuat dengan perbandingan non stoikiometri, yaitu sebesar 506,3 Gauss dengan nilai Densitas = 3,9 g/cm³, Porositas = 5,96%, Remanensi (Br) = 1,27 kG, Koersivitas (HcJ) = 3,88 kOe, Energi produk (BH max) = 0,36 MGOe.

Kata Kunci : Magnet Permanen, BaO.6Fe₂O₃, Stoikiometri dan Non stoikiometri, densitas, kurva BH.

ABSTRACT

We have made hard magnetic Barium Heksaferit from BaCO₃ and Fe₂O₃ technical with varying composition of BaCO₃ and Fe₂O₃ in Stoichiometric ratio (1:6) and Non Stoichiometric ratio (1:6,5). Preparation process by wet mixing and grinding by using *Plenary Ball Milling* (PBM) and dried, The testing of *Analyze Temperature Differential* (DTA) to determine the calcination temperature. The powder then calcined at 1000⁰C and held for 2 hours. Subsequently analyzed using *X-Ray Diffractometer* (XRD) and the results indicate that the structure has been formed BaO.6Fe₂O₃. The powder was then sieved to pass 400 mesh (38µm) by adding 3 %wt seluna as adhesives. Printing was done using a magnetic anisotropy field press and pressurized at 5 tons. Then sintered with temperature 1150⁰C, and held for 2 hours. Characterization includes: XRD analysis, flux density measurements with a gaussmeter, measure the density, porosity, BaO.6Fe₂O₃ morphology with SEM and

measurement BH curve with permagraf. From the research that has a magnetic Barium Heksferit the highest magnetic field strength magnets are made with Non-Stoichiometric, is 506,3 Gauss, density = 3,9 g/cm³, porosity = 5,96%, shrinkage = 21.37%, Remanensi (Br) = 1,27 kG, Coercivity (HcJ) = 3,88 kOe, Energy product (BH max) = 0.36 MGOe.

Key Word : Hard Megnetic, BaO.6Fe₂O₃, Stoichiometric and Non stoichiometric ratio, density, BH curve.

I. PENDAHULUAN

Suatu magnet permanen harus mampu menghasilkan fluks magnet yang tinggi dari suatu volume magnet tertentu, stabilitas magnetik yang baik terhadap efek temperatur dan waktu, serta memiliki ketahanan yang tinggi terhadap pengaruh demagnetisasi. Pada prinsipnya, suatu magnet permanen haruslah memiliki karakteristik minimal dengan sifat kemagnetan remanen (Br) dan koersivitas intrinsik (Hc) serta temperatur Curie (Tc) yang tinggi. [4]

Magnet dapat dikategorikan menjadi magnet “keras” dan magnet “lunak”. Magnet keras dapat mempertahankan kemagnetannya dalam waktu yang lama. Sifat magnetik magnet hanya akan bertahan apabila magnet berada dalam suatu medan magnetik. Magnet lunak tidak mengalami magnetisasi yang permanen.[8].

Untuk material magnet keras memiliki koersivitas kuat dengan nilai koersivitas diatas 10 kA/m dan material magnet lunak mempunyai koersivitas yang lemah dengan nilai koersivitas dibawah 1 kA/m [3].

Barium Heksferit merupakan tipe-M, yang lebih dikenal dengan sebutan barium heksagonal ferit (BaM) merupakan oksida keramik yang paling banyak dimanfaatkan secara komersial dan hingga kini telah banyak penelitian yang dilakukan untuk mengembangkan material tersebut baik dari segi fabrikasinya maupun penggunaannya.[2]

Barium M-heksferit (BaM) memiliki rumus kimia BaO.6Fe₂O₃ (BaFe₁₂O₁₉) dan struktur heksagonal yang sesuai dengan *space group* P 63/mmc. Sel kompleks BaM tersusun atas 2 sistem

kristal yaitu struktur kubus-pusat-sisi (*face-centered-cubic*) dan heksagonal mampat (*hexagonal-close-packed*). Keduanya tersusun dengan lapisan atom yang sama, satu lapisan di atas lapisan yang lain, dalam setiap lapisan, atom terletak di pusat jaringan.

Sel satuan BaM berisi 2 molekul, atau totalnya 2 x 32 = 64 atom. Inilah yang membuat strukturnya sangat panjang ke arah sumbu z dengan $c = 23,2 \text{ \AA}$ dan $a = 5,88 \text{ \AA}$. Ion-ion Ba²⁺ dan O²⁻ memiliki ukuran yang besar, hampir sama dan bersifat non magnetik. Keduanya tersusun dalam model *close packed* (tertutup). Ion Fe³⁺ menempati posisi interstisi.

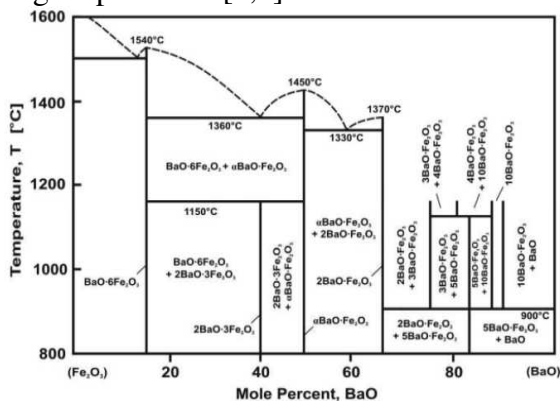
Dalam sel satuan BaM, terdapat 10 lapisan dari ion-ion besar (Ba²⁺ dan O²⁻), dengan 4 ion di setiap lapisannya. Delapan dari lapisan-lapisan tersebut adalah oksigen, sedangkan 2 lainnya berisi masing-masing satu ion barium. Seluruh blok dari 10 lapisan tersusun atas 4 blok, 2 blok kubus dan 2 blok heksagonal. Dalam blok kubus tersusun atas ion-ion oksigen yang memenuhi struktur tetrahedral dan oktahedral. Dalam setiap blok heksagonal, ion barium mengganti ion oksigen dan letaknya di lapisan tengah.

Ion yang bersifat magnet dalam barium ferit hanyalah ion Fe³⁺, tiap-tiap ion dengan nilai momen magnetik 5μB yang terletak dalam 3 jenis struktur kristalografi yang berbeda jenisnya yaitu tetrahedral, oktahedral dan heksahedral. Ion-ion Fe³⁺ searah dengan bidang lapisan oksigen, yang bisa sejajar atau tegak lurus dengan sumbu-z dalam <0001>.

Dalam setiap sel satuan terdapat 24 ion Fe³⁺, 4 ion berada di sistem tetrahedral, oktahedral dan 2 ion dalam heksahedral.

Terdapat 16 ion dengan spin searah dan 8 ion dengan spin berlawanan. Momen magnet setiap selnya adalah $(16-8) 5\mu\text{B} = 5\mu\text{B}$ /sel satuan atau $5\mu\text{B}$ / molekul dari $\text{BaO} \cdot 6(\text{Fe}_2\text{O}_3)$. Jumlah ini sebanding dengan 100 emu/g yang diukur pada magnetisasi saturasi di 0°K .

Barium heksaferit merupakan material magnetik dengan medan anisotropik yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan pada frekuensi yang lebih tinggi daripada ferit spinel atau garnet (di atas 30 GHz). Kristal magnet anisotropik berasal dari struktur kristal dengan anisotropik yang tinggi. Pertumbuhan butir struktur kristal tersebut juga bersifat anisotropik, dengan bentuk morfologi seperti bidang heksagonal yang memberikan peningkatan sisi anisotropiknya. Akibatnya, BaM menghasilkan koersifitas tinggi. Syarat itulah yang mestinya harus dimiliki oleh magnet permanen [5,6]



Gambar 1. Diagram Fasa dari Fe_2O_3 dan BaO

Pada gambar 1 merupakan diagram fasa barium heksaferit yang dibentuk dari senyawa BaO dan Fe_2O_3 .

Dari gambar diagram fasa di atas pada perbandingan komposisi 1:6 dengan banyaknya BaO 14,29 dan Fe_2O_3 85,71 (%mol) mulai terbentuk $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ pada temperatur 800°C . Bila perbandingan mol antara BaO dan Fe_2O_3 tidak sama dengan 1:6 maka kemungkinan fasa yang terbentuk $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{BaO} \cdot 3\text{Fe}_2\text{O}_3$ pada temperatur 800°C sampai 1150°C dengan komposisi 1:4. Jika temperaturnya dinaikkan hingga 1360°C maka fasa yang

terbentuk $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3 + \alpha\text{BaO} \cdot 3\text{Fe}_2\text{O}_3$. Dimana fasa $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{BaO} \cdot 3\text{Fe}_2\text{O}_3$ dan $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3 + \alpha\text{BaO} \cdot 3\text{Fe}_2\text{O}_3$ merupakan fasa yang tidak diinginkan sebagai material magnet karena akan merubah sifat kemagnetan bahan [7].

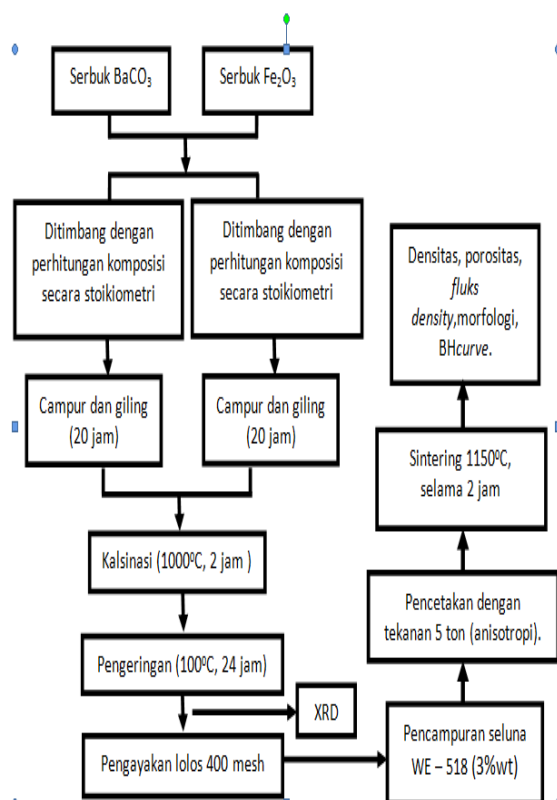
Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan magnet permanen Barium Heksaferit dengan menggunakan metode metalurgi serbuk yaitu, mereaksikan beberapa oksida dalam bentuk serbuk dengan dengan proses *milling*, kalsinasi, kompaksi, dan sintering. Bahan baku yang digunakan adalah BaCO_3 dan Fe_2O_3 merupakan bahan baku teknis. Bahan baku akan divariasikan dengan secara stoikiometri (1:6) dan non stoikiometri (1:6,5) dimana penambahan bahan Fe_2O_3 sebanyak 0,5% (%mol) dari perhitungan secara stoikiometri disebabkan karena ion yang bersifat magnet dalam Barium Heksaferit hanyalah ion Fe^{3+} yaitu yang terdapat pada Fe_2O_3 . Pada saat proses kompaksi serbuk dilakukan secara anisotrop yang bertujuan untuk mengarahkan orientasi partikel/butir bahan magnet agar arahnya seragam yang dikenal sebagai anisotrop ferit [6,8]. Proses sintering ditetapkan pada temperatur 1150°C ditahan selama 2 jam. Besaran yang diamati adalah densitas, porositas, *fluks density*, *BH curve* dan analisa mikrostrukturnya.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk Fe_2O_3 dan BaCO_3 merupakan bahan teknis, serbuk ditimbang dengan perbandingan 1:6 sesuai perhitungan stoikiometri dan 1:6,5 dengan perhitungan non stoikiometri, lalu dicampur masing – masing menggunakan *Planetary Ball Milling* (PBM) secara *wet milling*, proses pencampuran ini dilakukan selama 20 jam. Setelah itu dilakukan pengeringan selama 24 jam dengan temperatur 100°C menggunakan oven. Kalsinasi dilakukan untuk mendapatkan fasa Barium Heksaferit dari hasil reaksi pembakaran BaCO_3 dan Fe_2O_3 ,

pembakaran dilakukan dengan temperatur 1000°C dan *Holding Time* 2 jam. Untuk mengetahui apakah terbentuk barium heksaferit dilakukan pengujian XRD. Pengayakan dilakukan agar ukuran partikel relatif sama yaitu 400 mesh atau ekuivalen dengan $38\mu\text{m}$. Sebelum melakukan kompaksi Barium Heksaferit sebanyak 8 gr dicampur dengan seluna WE – 518 sebanyak 3% dari berat Barium Heksaferit. Kompaksi dilakukan secara anisotrop, tekanan yang diberikan ketika kompaksi sebesar 5 ton. Sampel yang telah dicetak disintering dengan temperatur 1150°C . Setelah itu dimagnetisasi dan dikarakterisasi.

Tahap yang dilakukan pada pembuatan magnet permanen Barium Heksaferit dapat dilihat pada diagram alir berikut ini.

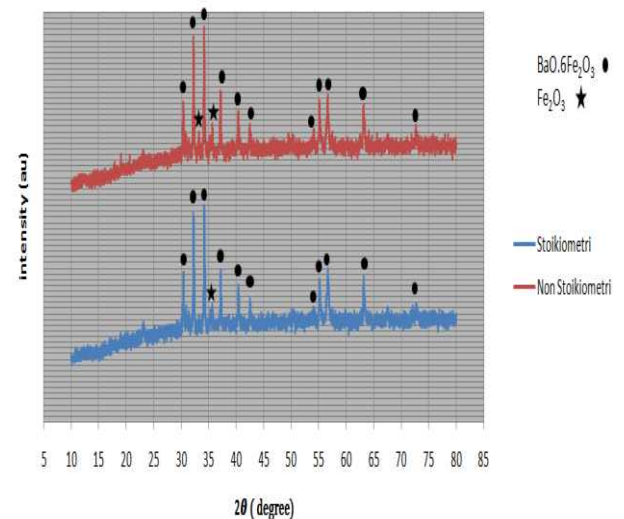


Gambar 2. Diagram alir pembuatan magnet permanen Barium Heksaferit
Karakterisasi sifat fisis pada penelitian ini meliputi : Densitas (densitas Archimedes dan *Bulk density*), porositas dan morfologi dengan SEM EDX. Dan karakterisasi sifat magnet pada penelitian ini meliputi : *fluks density* dengan menggunakan Gaussmeter

dan *BH curve* dengan menggunakan permagraf.

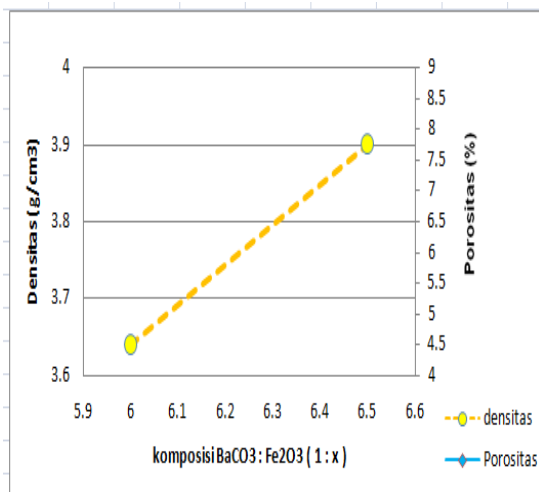
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil rekasi Fe_2O_3 dan BaCO_3 pada temperatur 1000°C yang ditahan selama 2 jam akan menghasilkan fasa mayor $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan minor Fe_2O_3 seperti terlihat pada gambar 2.



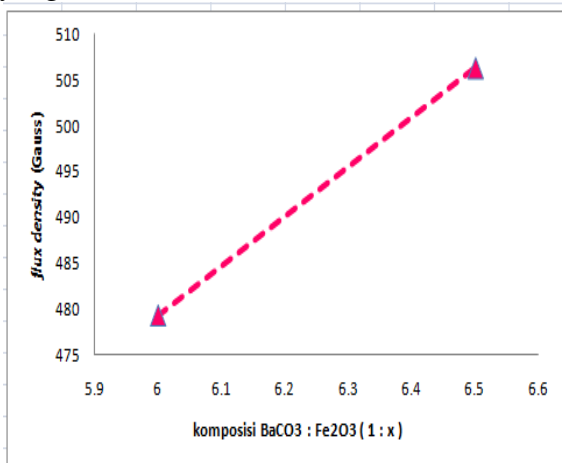
Gambar 3. Pola difraksi magnet permanen Barium Heksaferit

Serbuk yang telah dikalsinasi pada suhu 1000°C dan dianalisa dengan XRD menghasilkan pola difraksi seperti pada gambar 3. Pola difraksi tersebut dapat diidentifikasi fasa untuk serbuk dengan komposisi bahan baku yang dilakukan secara stoikiometri dan non stoikiometri. Dari hasil pola difraksi diperoleh puncak – puncak yang menunjukkan fasa Barium Heksaferit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) dan Hematit (Fe_2O_3) dimana fasa mayor adalah Barium Heksaferit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) dan minor adalah Hematit (Fe_2O_3). Banyaknya fasa Barium Heksaferit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) yang terbentuk pada perbandingan stoikiometri adalah sebesar 90,9% dan Hematit (Fe_2O_3) sebesar 9,1%. Sedangkan pada komposisi bahan baku yang dilakukan dengan perbandingan secara non stoikiometri menghasilkan fasa Barium Heksaferit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) dan Hematit (Fe_2O_3) masing-masing sebesar 80,8 dan 18,2%.



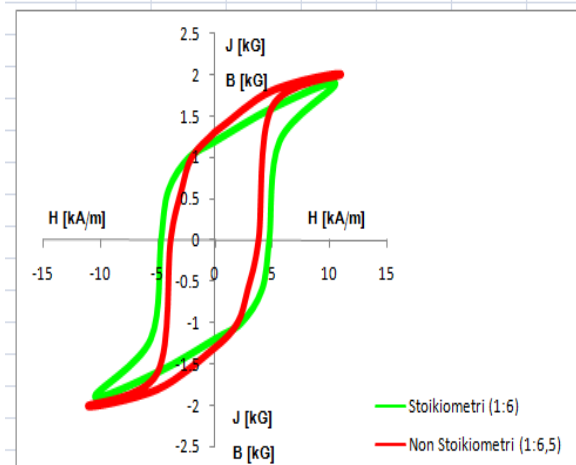
Gambar 4. Pengaruh komposisi bahan baku terhadap densitas dan porositas

Dari gambar 4 di atas menunjukkan pengaruh komposisi bahan baku secara stoikiometri dan non stoikiometri terhadap densitas dan porositasnya. Tampak bahwa penambahan Fe₂O₃ sebanyak 0,5% (%mol) dari perhitungan stoikiometri dapat meningkatkan densitas dan menurunkan porositas magnet permanen Barium Heksaferrit. Densitas yang diperoleh dengan komposisi bahan baku secara stoikiometri sebesar 3,64 g/cm³ dan secara non stoikiometri sebesar 3,90 g/cm³, untuk porositas diperoleh nilai sebesar 7,62% pada komposisi bahan baku secara stoikiometri dan 5,96% pada non stoikiometri. Hal ini dapat diasumsikan karena ukuran atom Fe (126 pm) yang lebih kecil jika dibandingkan dengan Ba (222 pm) sehingga Fe dapat mengisi pori yang ada.



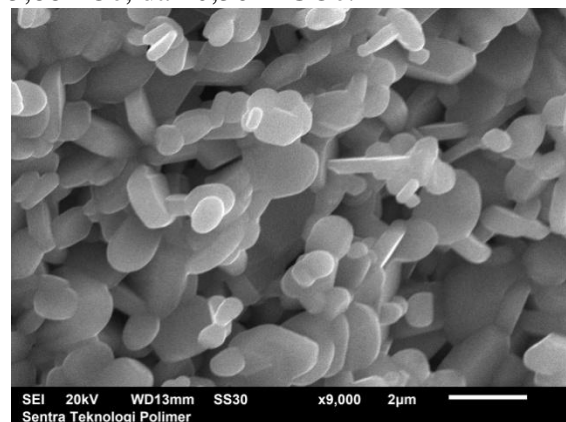
Gambar 5. Pengaruh komposisi bahan baku terhadap *flux density*

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa dengan penabahan bahan baku Fe₂O₃ sebanyak 0,5% (%mol) dari perhitungan stoikiometri dapat meningkat kuat medan magnetnya, pada stoikiometri kuat medan magnet yang diperoleh yaitu 479,30 gauss dan pada non stoikiometri diperoleh kuat medan magnet sebesar 506,30 gauss. Hal ini disebabkan karena hanya ion Fe³⁺ yang memiliki sifat magnet dari Barium Heksaferrit.

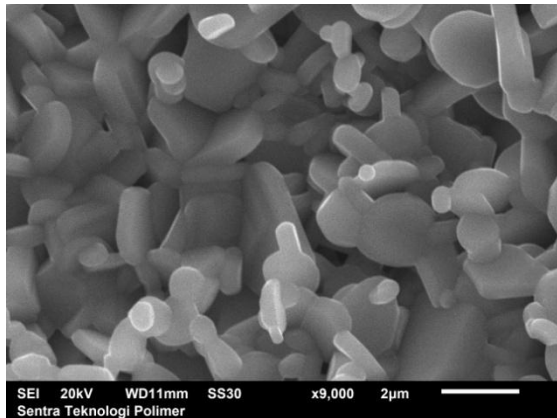


Gambar 6. Kurva Histerisis magnet permanen Barium Heksaferrit

Dari gambar 6 tampak adanya perubahan pembentukan kurva histerisis pada stoikiometri dan non stoikiometri. Dari kurva histerisis di atas dapat diketahui nilai remanensi (Br), koersivitas (Hc), dan energi produk secara berturut – turut untuk komposisi secara stoikiometri adalah 1,22 kG, 4,80 kOe, dan 0,34 MGOe sedangkan untuk non stoikiometri adalah 1,27 kG, 3,88 kOe, dan 0,36 MGOe.



(a)



(b)

Gambar 7. Morfologi magnet permanen Barium Heksaferit (a) Stoikiometri (b) Non Stoikiometri

Dari gambar 6 tampak bahwa distribusi partikel sudah cukup merata, pada gambar 7 (b) pori yang ada semakin sedikit jika dibandingkan dengan gambar 7 (a) dimana telah diketahui densitas untuk non stoikiometri lebih besar dibandingkan dengan stoikiometri.

V. KESIMPULAN

Dari data hasil percobaan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dari hasil pola difraksi sinar-X telah terbentuk Barium Heksaferit dan terdapat fasa lain yaitu hematit.
2. Pada komposisi secara non stoikiometri merupakan komposisi terbaik untuk mendapatkan sifat fisis dan sifat magnet yang optimum.
3. Dari hasil penelitian yang telah diamati bahwa penambahan bahan baku Fe_2O_3 mempengaruhi sifat fisis dan magnet $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Arie Fiandimas dan Azwar Manaf. 2003. "Pembuatan Magnet Permanen Barium

Heksaferit Berbahan Baku Mill Scale Dengan Teknik Metalurgi Serbuk".

Vol.5

[2] Darminto, dkk. 2011. Sintesis Serbuk Barium Heksaferit Dengan Metode Kopresipitasi. Surabaya : ISBN.

[3] Johan, Akmal. "Analisis Bahan Magnet Nanokristalin Barium Heksaferit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) dengan Menggunakan High-Energy Milling".

[4] Manaf, Azwar. 2013. Intensive Course on Magnetism and Magnetic Materials. In Press.

[5] Noer Af'idah, dkk. 2011. Sintesis Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ Dengan Variasi Temperatur Kalsinasi. Surabaya : ISBN.

[6] Novrita Idayati dan Dedi. 2003. "Pembuatan Magnet Barium Heksaferit Anisotrop".

Vol.5

[7] R.Nowolsielski et al. 2007. "Structure and properties of Barium ferite powder by milling and annealing". Vol.28.

[8] Vlack, Lawrence H. Van. 2004. Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material. Diterjemahkan oleh Sriati Djaprie. Jakarta : Erlangga.